

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

Univerzitní Studijní Programy

**Laboratorní model elektronického systému pro ověřování  
vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU pro motorová  
vozidla**

The Laboratory Model of Electronic System for Verifying the  
Characteristics of the Input and Output Circuits ECU for Motor  
Vehicles

Student:

Stanislav Obrusník

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Šimoník Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Univerzitní studijní programy  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Stanislav Obrusník**

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R007 Automobilová elektronika

Téma:

Laboratorní model elektronického systému pro ověřování vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU pro motorová vozidla  
The Laboratory Model of an Electronic System for Verifying the Characteristics of the Input and Output Circuits ECU for Motor Vehicles

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Dle instrukcí vedoucího bakalářské práce a s využitím součástkové základny výrobců Freescale a Infineon Technologies navrhnete laboratorní model elektronického systému pro ověřování vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU pro motorová vozidla - v konfiguraci "obvody pro zpracování signálu snímačů - řídicí systém - budiče akčních členů".
- 2) Proveďte praktickou realizaci navrženého laboratorního modelu a ověřte jeho funkčnost praktickým měřením.
- 3) Navrhnete laboratorní úlohy pro praktickou výuku předmětu Automobilová elektronika II. Tyto úlohy mají objasnit vnitřní strukturu a komunikaci obecné ECU. Zaměřte se zejména na využití komunikačního prostředku SPI.

Seznam doporučené odborné literatury:

- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
- VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
- ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
- RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
- BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2013

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 20.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



---

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
708 33 Ostrava-Poruba  
17. listopadu 52/212



---

prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.  
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016

.....  
Podpis

## Prohlašuji že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16. 5. 2016

.....  
Podpis

Jméno a příjmení autora práce

Adresa trvalého pobytu autora práce

Stanislav Obrusník

ČS. Armády 336

742 83 Klimkovice

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. a Ing. Lukáši Cábovi, za odborné konzultace a velmi užitečné rady při tvorbě bakalářského projektu.

## **Anotace bakalářské práce**

STANISLAV, O.: Laboratorní model elektrického systému pro ověřování vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU pro motorová vozidla. Ostrava, 2016 52s. Bakalářská práce, Fakulta USP - VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí Ing. Petr Šimoník Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací elektronického systému pro ověřování vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU pro motorová vozidla.

V úvodních kapitolách je popsána teoretická rešerše věnující se zejména funkci a struktuře automobilových elektronických systémů. Dále je zde popsáno několik typů komunikačních rozhraní, jako jsou sběrnice CAN, LIN, MOST a FLEXRAY. Největší část je věnována sběrnici SPI, jelikož je stěžejní pro tuto bakalářskou práci. Na to navazuje struktura a koncepce vyvinutého laboratorního modelu, v níž jsou popsány jednotlivé komponenty. V následujících částech je popsána praktická realizace obsahující návrh desky plošného spoje a návrh software. V poslední části jsou uvedeny výsledky praktického měření na modelu. V příloze je dále doložen vzorový protokol o laboratorním měření.

## **Klíčová slova**

Řídicí systém, Arduino, zpracování signálu, řídicí jednotka, budiče akčních členů, SPI, laboratorní model.

## **Bachelor Thesis Annotation**

Laboratory model of electrical system for verifying the properties of the input and output ECU circuits for vehicles. Ostrava; 2016 52p. Bachelor thesis, USP Faculty - VŠB – Technical University of Ostrava. Thesis supervisor Ing. Petr Šimoník Ph.D.

This thesis deals with design and implementation of an electronic system for verifying the properties of the input and output circuits ECU for motor vehicles. The opening chapters describe theoretical research dedicated to particular functions and structures of automotive electronic systems. There is also described several types of communication interfaces such as CAN, LIN, MOST and FlexRay. The largest part is devoted to the SPI bus, since it is fundamental for the bachelor thesis. This is followed by the structure and concepts of the developed laboratory model, which describes the individual components. The following sections describe the practical implementation of the model containing PCB and software design. The last part contains the results of practical measurement on the model. The protocol on laboratory measurements is further attached.

## **Keywords**

Control system, Arduino, signal processing, control unit, actuator drivers, SPI, laboratory model.



## Seznam použitých symbolů a zkratk

ASP	<i>Asynchronní sériový přenos</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i> (Automobilová sběrnice)
CCU	<i>Central Control Unit</i> (Hlavní řídicí jednotka)
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Hlavní procesorová jednotka)
CS	<i>Chip Select</i>
DPS	<i>Deska plošného spoje</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (Elektronická řídicí jednotka)
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (Energeticky nezávislá paměť)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Elektro-luminiscenční dioda)
LIN	<i>Local Interconnect Network</i> (Asynchronní sériová sběrnice)
MCU	<i>Microcontroller Unit</i> (Mikroprocesorová jednotka)
MISO	<i>Master In Slave Out</i>
MOSI	<i>Master Out-Slave In</i>
MOST	<i>Media Oriented System Transport</i> (Sběrnice pro multimediální přenosy)
PROM	<i>Programmable Read Only Memory</i> (Jednorázově programovatelná paměť)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Pulzně šířková modulace)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Pulzně šířková modulace)
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Přepisovatelná paměť)
ROM	<i>Read Only Memory</i> (Paměť pouze pro čtení)
ŘJ	<i>Řídicí jednotka</i>
SCLK	<i>Serial Clock</i> (Hodinový signál)
SMD	<i>Surface Mount Device</i> (Součástky pro povrchovou montáž)
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> (Sériové periferní rozhraní)
SS	<i>Slave Select</i>
SSP	<i>Synchronní sériový přenos</i>
WD	<i>Watchdog</i> (kontrolní bit u SPI přenosu)

$C_1, C_2$	Materiálová a vyzařovací konstanta	[-]
$I$	Proud	[A]
$I_{CH1}, I_{CH2}$	Proud kanály 1 a 2	[A]
$P$	Výkon	[W]
$P_Z$	Ztrátový výkon	[W]
$R$	Odpor	[ $\Omega$ ]
$R_{DS(ON)}$	Odpor v sepnutém stavu	[m $\Omega$ ]
$R_{JA}$	Vnější tepelný odpor	[ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]
$R_{JB}$	Vnitřní tepelný odpor	[ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]
$S_1, S_2$	Plochy chladičů	[cm <sup>2</sup> ]
$U$	Napětí	[V]
$V_{BAT}$	Napájecí pro výstupní kanály MC17XS6500	[V]
$VCC$	Napájecí napětí vnitřní logiky MC17XS6500	[V]
$VDD$	Napájení vnitřní logiky MC33972	[V]
$VPWR$	Napájení z baterie MC33972	[V]
$\vartheta_C$	Teplota pouzdra	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\vartheta_J$	Teplota čipu	[ $^{\circ}\text{C}$ ]

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	12
<b>2</b>	<b>Funkce a struktura ŘJ</b>	12
<b>3</b>	<b>Komunikační rozhraní</b>	16
	CAN – BUS	16
	LIN	17
	MOST	18
	FlexRay	19
	SPI	19
<b>4</b>	<b>Struktura a koncepce modelu</b>	23
4.1	Obvodová část bloku modelu pro zpracování signálu	24
4.2	Obvodová část bloku modelu pro buzení akčních členů	26
4.3	Řídicí systém	28
<b>5</b>	<b>Realizace laboratorního modelu</b>	30
5.1	Návrh software	31
5.2	Návrh DPS	32
5.3	Výpočet oteplení pouzder výkonových součástek	34
5.3.1	Stabilizátory 7805 a 7808	34
5.3.2	Obvod MC17XS6500	36
<b>6</b>	<b>Měření na modelu</b>	37
6.1	Analýza SPI	38
6.2	Měření na výstupních kanálech	40
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	42
	<b>Seznam použité literatury:</b>	43
	<b>Seznam příloh</b>	44

## 1 Úvod

Vývoj elektroniky v automobilech od svých počátků na konci 19. století značně vzrostl. Mezi první elektronické komponenty implementované do automobilů se stávaly startéry, které zajišťovaly rozběh motoru bez použití fyzické námahy. Dynama zajišťovaly dobíjení baterie, avšak měly řadu nevýhod, proto byly postupně nahrazovány alternátory. Alternátory byly zpočátku vybaveny mechanickými regulátory napětí, avšak s rozvojem elektroniky se nahrazovaly polovodičovými. Automobilová elektronika se od té doby začala vyvíjet velmi rychle. Po elektronických systémech byla velká poptávka. Od roku 2000 došlo k výraznému nárůstu počtu elektronických systémů v automobilech. Od roku 2010 byl nárůst ještě razantnější, ovšem v současné době se počet elektronických systémů ve vozidlech již dále nezvětšuje. Zvětšují se ovšem počty řídicích jednotek a subsystémů.

Se zvyšujícími se nároky na bezpečnost a komfort automobilů vzniká řada inovací. Zdokonalují se zejména elektronické systémy, které se vybavují určitými typy ochran. Ochranu zajišťují inteligentní elektronické systémy obsahující obvody, které jsou schopny samočinně reagovat na případné poruchové stavy. Přesto, že se stávají stále komplikovanější, jsou velmi robustní. Řídicí jednotku můžeme rozdělit na tři hlavní části. Vstupní část se zabývá zpracováním signálu, výstupní část buzením akčních členů a třetí částí je mikrokontrolér s dalšími periferiemi zajišťující jak vzájemnou komunikaci obou částí, tak přenáší informací nadřazeným systémům po sběrnici. Za účelem ověřování vlastností obvodů buzení akčních členů a softwarové analýzy komunikace byl vyvinut laboratorní model.

## 2 Funkce a struktura ŘJ

Pro pochopení jak dnešní elektronické systémy pracují, je nutné nejdříve pochopit funkci a strukturu řídicí jednotky jako takové.

Řídicí jednotka ECU (Electronic Control Unit) je v podstatě počítač umožňující řízení automobilových systémů.

V minulosti se využívaly pro regulaci či řízení systémy hydraulické, pneumatické či termické, s nástupem elektroniky se však začaly nahrazovat elektronickými. To přineslo mnoho výhod:

- zvýšení bezpečnosti,
- zlepšení ekologie a ekonomie provozu,
- zvýšení jízdního pohodlí.

Další velkou výhodou elektronických systémů je, že se zvětšují možnosti pro vývoj mechanických systémů. Podstatou elektronické řídicí jednotky je, že získává informace ze snímačů neelektrických veličin, které jsou přivedeny na vstupy. Tyto informace jsou řídicím systémem zpracovány, ukládány a na základě toho jsou vytvořeny akční zásahy, které ovlivňují přidružené mechanické prvky.

#### **Hlavní funkce řídicí jednotky jsou:**

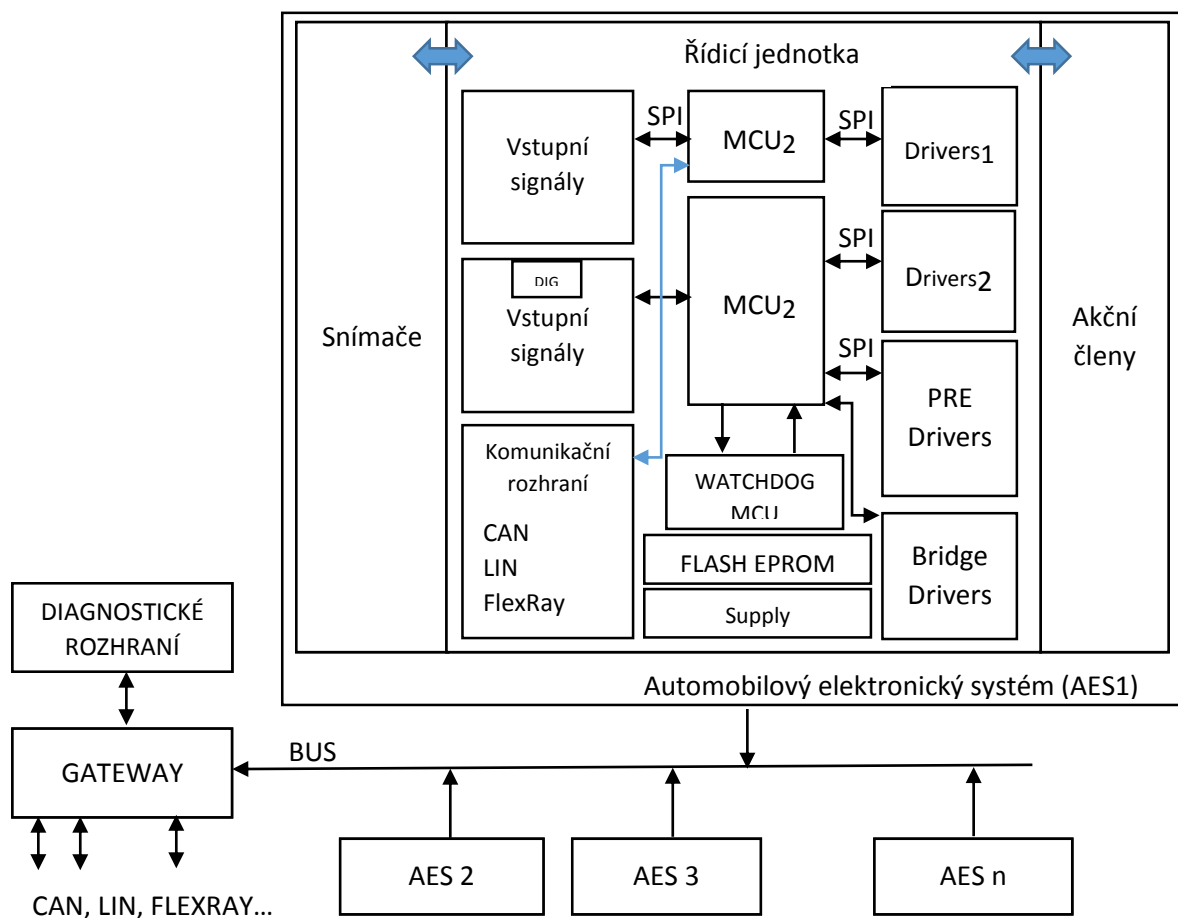
- Řídicí – zpracování a vyhodnocování informací z řízeného procesu, na základě těchto informací dojde k akčnímu zásahu, aby bylo dosaženo záměru řízení.
  - Regulační – jádrem je uzavřený regulační obvod, při změně regulační odchylky obvod okamžitě zareaguje akčním zásahem na výstupu.
  - Diagnostická – kontroluje vybrané parametry, které mají vliv na provozní spolehlivost automobilu a rozhoduje o tom, zda se vstupní signál pohybuje v předepsaném rozmezí.
- [1]

Řídicí jednotka je vyrobena mnohdy z tisíce velmi malých součástek, které jsou uzavřeny v malém prostoru krabičky. Aby byla zajištěna správná funkce, musí být systém navržený tak, že bude dokonale odolávat:

- nepříznivým změnám teplot od -40 do 125°C (dle typu jednotky),
- protékání a prosakování provozních kapalin,
- vnějšímu elektromagnetickému rušení,
- elektrickým napěťovým špičkám,
- vibracím, či jiným nežádoucím vlivům.[1]

**Vnitřní struktura řídicí jednotky se skládá z těchto částí:**

- Mikrokontrolér – vykonává předepsané matematické a logické operace. Provádí řízení a regulace. Vychází z hodnot uložených v paměti FLASH EEPROM (tzv. pole konstant).
- Paměť – nositel dat pro řízení procesu, dělí se na tři druhy:
  - ROM – trvalá paměť, ve které jsou uloženy data nebo algoritmy již z výroby. Přístup do této paměti je značně pomalý, proto se data při spuštění jednotky ukládají do rychlejší paměti RAM.
  - RAM – operační přepisovatelná paměť. Má velmi krátkou dobu přístupu, ale po vypnutí napájení se v ní veškerá data nenávratně ztratí.
  - PROM – pouze jedenkrát programovatelná paměť. Po naprogramování se chová jako ROM.
  - EPROM – programovatelná paměť. Mazatelná pouze UV zářením, poté je možné ji znova naprogramovat, avšak při vypnutí napájení se data neztratí.
  - FLASH EEPROM – slouží pro uložení pole konstant (tzv. mapy).
  - Serial EEPROM – programovatelná paměť. Data je možné elektronicky přepsat či mazat. Přepisovací doba je však poměrně dlouhá, proto se nehodí pro běžné operace. Slouží především jako úschovna pro data před vypnutím zařízení.
- Sběrnice (BUS) – je prostředkem pro komunikaci v rámci vnitřní struktury bloků řídicí jednotky a dále je prostředkem pro komunikaci v rámci propojení automobilových elektronických systémů.
- Vstupní a výstupní obvody – obsahují A/D a D/A převodníky, případně výkonové stupně. Díky těmto obvodům se informace ze snímačů převádějí do řídicího algoritmu a naopak.
- Komunikační rozhraní – forma vstupně/výstupního obvodu na číslicové úrovni. Realizuje se skrze něj komunikace mezi elektronickými systémy ve vozidle (např. elektronický systém řízení motoru, přístrojová deska, elektronický systém převodovky, apod.). [2]



Obr. 1 Automobilový elektronický systém [3]

Řídicí jednotka automobilu může data přenášet na sběrnici (např. CAN), jež může být zakončena bránou tzv. Gateway. Gateway je rozhraním sběrnic. Umožňující propojit jak sběrnice komunikující na rozdílných rychlostech, tak i rozdílné druhy sběrnic, to mohou být:

- CAN,
- LIN,
- MOST,
- FLEXRAY.

Vyvinutý laboratorní model se strukturou přibližuje ke struktuře řídicí jednotky na obrázku č. 1. Důležitou částí laboratorního modelu je komunikační rozhraní. Jak již bylo řečeno v úvodu, elektronický systém laboratorního modelu je rozdělen na tři části. Vstupní a výstupní část, je reprezentována I/O obvody zajišťující zpracování signálu a buzení akčních členů. Úkolem třetí - řídicí části je zajistit jak komunikaci mezi vstupním a výstupním obvodem, tak i případný přenos informací jinému elektronickému systému (např. přenos na CAN-BUS).

Komunikace mezi vstupním a výstupním obvodem je však realizována skrze sběrnici SPI. Proto je nutné nejprve vysvětlit, jakou funkci má která sběrnice a na jakém principu každá z nich pracuje.

### 3 Komunikační rozhraní

První informace, které byly kdy přeneseny, byly určeny přímo řidiči. Jednalo se především o indikace provozních stavů vozidla, jako je rychlost, teplota provozních kapalin či nedostatek paliva v nádrži. Vývoj přinesl mikroprocesorem řízené systémy, které zpočátku zajišťovaly pouze regulaci spalovacího procesu a vylepšily průběh spalování oproti karburátorovým systémům. Později se tyto systémy začaly rozšiřovat i v oblasti systémů jízdní stability a komfortu vozidel. Každý elektronický systém v soudobém vozidle vyžaduje informace od všech okolních systémů. Zabředneme-li do jádra řídicí jednotky, děje se tomu tak i mezi integrovanými obvody.

Komunikační rozhraní umožňuje propojení dvou či více různých typů zařízení. Při vývoji automobilové elektroniky vzrůstal počet elektronických systémů, jež spolu musely navzájem komunikovat. Proto bylo nutné se více či méně inspirovat počítačovými sběrnici. Sběrnice je pojem označující soustavu vodičů, které umožňují komunikaci mezi jednotlivými elektronickými systémy. Stejně jako řídicí jednotky, i sběrnice jsou vystavovány nepříznivým podmínkám, panujícím v motorovém prostoru. Musí odolávat teplotám od  $-40$  do  $+125^{\circ}\text{C}$  a jsou vystaveny značnému rušení. Tyto faktory odlišují průmyslové a automobilové sběrnice. [4]

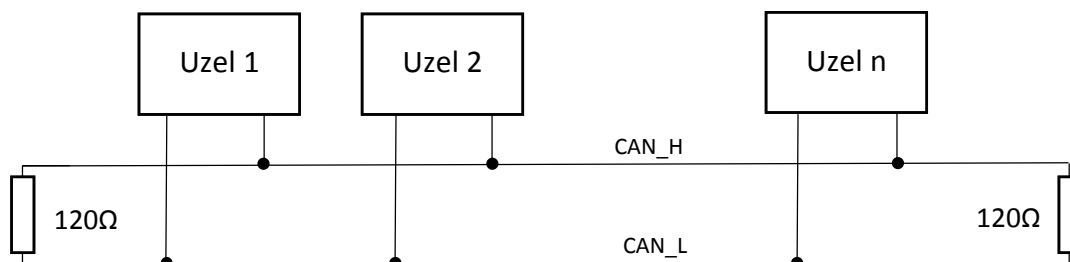
#### CAN – BUS

Vývoj sběrnice CAN začal již v roce 1983. Výrobcem byla firma Bosch. Masivní nasazení ovšem začalo až v roce 2005. Dnes ji již najdeme téměř v každém vozidle.

Označení CAN-BUS (Controller Area Network) je sběrnice, která je nejčastěji používaná pro komunikaci mezi senzory a jednotkami automobilu. Je specifická svým přístupem uzlů (uzel můžeme chápat jako řídicí jednotku) k síti, tvořenou společným vodičem (vodiči). Při tomto uspořádání sítě lze vysílat pouze jednomu uzlu v daném čase. Aby signál na konci sítě zanikl a nedocházelo tak k nežádoucímu tzv. echu, je ukončen terminátorem – u některých norem sběrnice rezistorem o hodnotě  $120\Omega$ . V případě, že dojde k porušení přístupu jednoho uzlu do sběrnice, je sběrnice stále funkční. To neplatí při porušení vedení sběrnice. Proto je



důležité uspořádání do topologie. Nespolehlivé jsou zejména topologie kruhu či hvězdy, proto se většinou používá topologie klasické. [2]

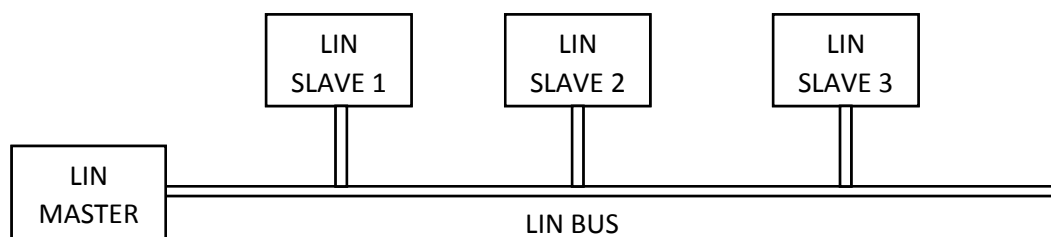


*Obr.2 Principiální schéma sběrnice CAN*

Sběrnice se může nacházet v aktivním (dominantním) nebo pasivním (recesivním) stavu, aktivní stav představuje stav  $\log.0 \rightarrow \text{diference} \approx 0$  a pasivní stav  $\log.1 \rightarrow \text{diference} \approx 2,5V$ . Díky diferenciálnímu přenosu signálu přes kroucenou dvojlinku má sběrnice vysokou odolnost proti elektromagnetickému rušení. Maximální rychlost přenosu je 1Mbit/s přičemž je délka sběrnice do 40m. Při délce 140m je to 500kbit/s, při 560m je to 125kb/s a při délce 3,3km je to „jen“ 20kb/s.

## LIN

Sběrnice LIN (Local Interconnect Network) navazuje na komunikační síť CAN. Je poměrně mladá. Při jejím vývoji byla snaha snížit cenu komunikační linky (oproti CAN asi 2-3 násobně levnější). Její přenosová rychlost se pohybuje maximální rychlostí 20 kbps při délce vedení maximálně 40m. Proto je její použití omezeno na méně důležité systémy ve vozidle, jako je například ovládání oken, ovládání zrcátek, polohování sedadel apod. [2]



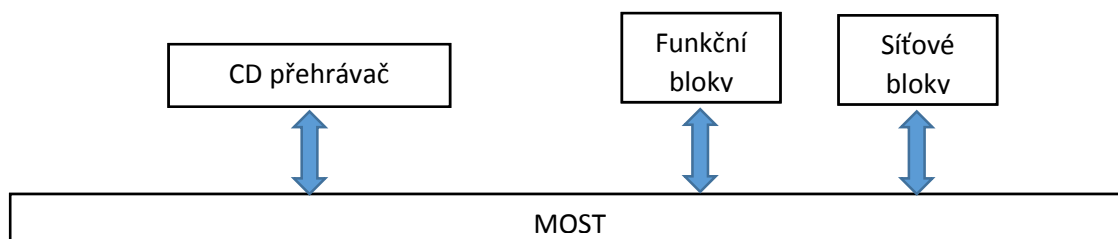
*Obr.3 Principiální schéma sběrnice LIN [2]*

Sběrnice je tvořena jedním vodičem a je asynchronní. Probíhá zde komunikace mezi obvodem Master a může zde být použito maximálně 16 uzlů typu Slave. Síť lin je možné propojit přes komunikační bránu Gateway k síti CAN. Komunikace probíhá tak, že Master

nastaví komunikační rychlost sběrnice a vyšle hlavičku zprávy. Ta je tvořena synchronizačním pulzem a synchronizačním polem. Jednotky Slave se na tuto rychlost adaptují. Master pak posílá data například pro Slave 1. Pokud nastane situace, že mají být vyslány data směrem k Masteru, dojde k tomu až po příchodu hlavičky zprávy z Masteru. [2]

## MOST

MOST (Media Oriented System Transport) založena roku 1998 je sběrnice koncipovaná pro přenos multimediálních dat. V praxi byla hojně rozšířena díky svojí vysoké přenosové rychlosti a díky integraci zařízení. Fyzická vrstva je tvořena optickou sítí. Přenos dat je umožněn synchronně (audio, video) i asynchronně (obrázky a data z mobilního telefonu). V praxi je nejčastější použití kruhové topologie. Komunikace probíhá mezi nadřazeným zařízením Master a uzlem Slave. Je dovoleno použití maximálně 64 uzlů. Datový rámec je taktován na frekvenci 44,1kHz resp. 48kHz tomu odpovídá rychlost 22,5Mbps resp. 24,5Mbps. [2]



Obr. 4 Principiální schéma sběrnice MOST [2]

**Datový rámec se skládá z těchto částí:**

- Administrativního pole (na začátku a konci rámce)
- Synchronizačního kanálu
- Asynchronního kanálu
- Kontrolního kanálu

MOST25 již přestává dostačovat, jelikož jsou kladeny vysoké nároky na datovou propustnost. U médií jako je BlueRay, DVD-Audio, video streamované přes web atp. Na MOST25 navazuje rychlejší MOST150 s pásmem 150Mbps. Problematická je však délka vedení, která je limitována na 20m. [2]

## FlexRay

Založena roku 1999 automobilkami BMW, Daimler-Chrysler. Používá se zejména tam, kde je vyžadována vysoká bezpečnost komunikace. Na sběrnici je kladen požadavek vysoké rychlosti a spolehlivosti přenosu dat pro systémy tzv. X-by wire. Oproti síti CAN má výhodu použití časově deterministického systému. Existuje jednobusová a dvoubusová struktura sběrnice, přičemž každý kanál má propustnost 10Mbps. Vzdálenost mezi uzly může být až 24m a mohou být uvedeny do režimu nízkého odběru, pak mohou být znovu probuzeny. Topologie se liší podle použití jednobusového nebo dvoubusového provedení. Může být vytvořena síť:

- sběrnice (BUS),
- hvězda,
- trojúhelník. [2]

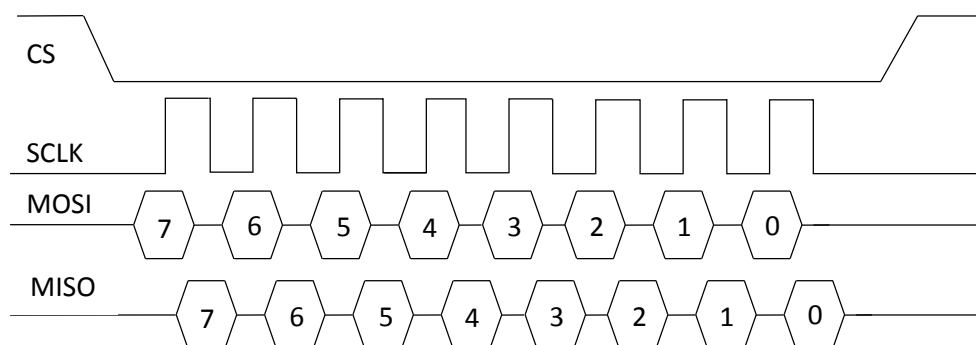
Při přenosu musí být dodrženy dvě podmínky. Nesmí být překročena délka zpoždění přenosu ( $2,4\mu s$ ) a nesmí se spojit více než 3 hvězdy v topologii. Rámec je tvořen hlavičkou, payload (užitečným zatížením) a CRC (24 bitový segment zajišťující zabezpečení přenášených dat). Cyklus je tvořen buď dynamickým, nebo statickým segmentem. Statický segment udává stejnou šířku pásma a komunikační sloty jsou tudíž stejné. Dynamický segment vytváří proměnnou šířku pásma a délka slotu je dána žádostí uzlu. [2]

## SPI

Rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní) také označováno jako Microwire, je čtyřvodičové synchronní rozhraní se samostatnými linkami pro vstupní a výstupní data. Hodinová frekvence sběrnice může dosahovat až 5MHz (v závislosti na propojených zařízeních). Souběžně se synchronizačním pulzem jsou posílány datové bity. Obvykle je tomu tak, že je komunikace zprostředkována mezi jedním vedoucím zařízením a jedním, nebo více podřízenými zařízeními. Zařízení má 3 povinné signály (čtvrtým je GND). [5]

- SCLK – (Serial Clock – Sériové hodiny) – synchronizační signál, kterým vedoucí zařízení vzorkuje jednotlivé datové bity.
- MOSI – (Master Output Slave Input – pán výstup otrok vstup) – data z vedoucího zařízení jsou posílána na vstup podřízenému zařízení.
- MISO – (Master Input Slave Output – pán vstup otrok výstup) – data jsou posílány výstupem z podřízeného zařízení na vstup nadřazeného zařízení. [5]

Navíc je mimo tyto signály použito i signálu pro výběr podřízeného zařízení SS (Slave Select – výběr podřízeného) nebo CS (Chip Select – výběr čipu). Podřízené zařízení reaguje na vstupní data pouze tehdy, má-li tento signál nízkou logickou úroveň. Pokud je vysoký, musí se dát vstup MISO do stavu s vysokou impedancí. Signál SS (CS) se navíc používá různými způsoby, a to je na výrobci každého zařízení. Prvním typem je indikován začátek přenosu pokles signálu SS a nárůst SS indikuje konec zprávy. Druhou možností je, že na výstupu SS je neustále nízká logická úroveň a začátek přenosu je indikován prvním poklesem signálu SCLK. To se někdy používá pro dvoubodovou synchronizaci. [5]



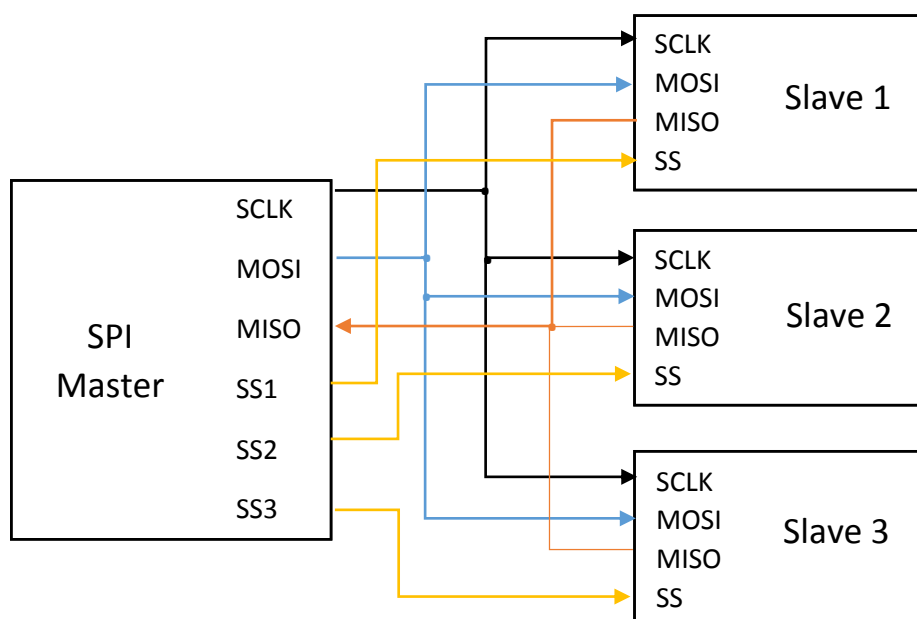
*Obr. 5 Příklad přenosu dat po SPI [5]*

Data jsou posílána od nejdůležitějšího bitu. Formát zprávy vypadá přibližně tak, že vedoucí zařízení pošle kód operace s adresou informací do podřízeného zařízení přes linku MOSI a poté následující data. Při zápisu jsou data posílány po stejné lince, naopak při čtení jsou data posílány po lince MISO, které posílá podřízené zařízení. Master musí udržet logickou 0 na SS (CS) po celou dobu přenosu zprávy. Počet synchronizačních impulsů závisí na formátu příkazu. [5]

Důvodem používání sériové komunikace mezi jednotlivými obvody je především zmenšení počtu vývodů jejich pouzder, počtu vodičů, lepší odolnost vůči rušení a další. Při použití sériových pamětí se zredukuje množství adresních, datových a řídicích vývodů paměti na tři až čtyři vývody. To umožňuje zmenšit rozměry pouzdra i spojové desky, protože odpadá prostorově náročné propojování velkým počtem vodičů.

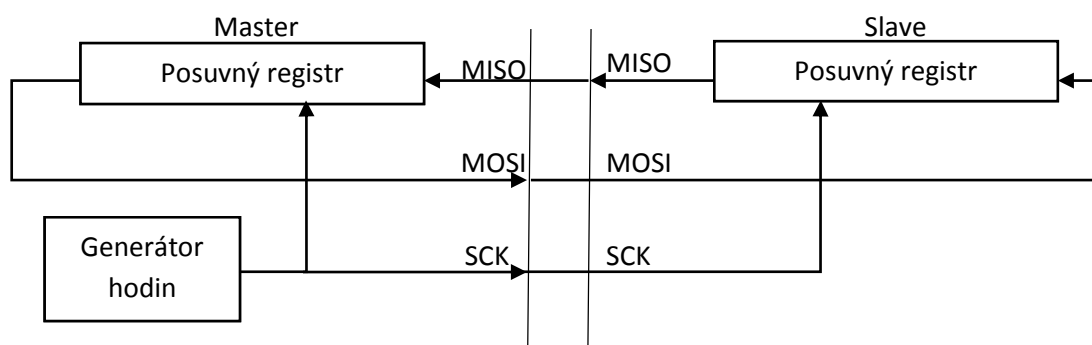
Rozhraní SPI je v mém případě použito ke komunikaci mezi I/O obvody. Oba tyto obvody se řadí do kategorie Slave. Obvod Master je reprezentován vývojovým kitem Arduino UNO (dále se dočtete v části struktura a koncepce modelu).

Každý obvod Slave má vstup SS (Slave Select) pro výběr obvodu. Je-li SS v neaktivní úrovni, je rozhraní SPI daného obvodu neaktivní a jeho výstup MISO je ve stavu vysoké impedance. Vstupy SS jednotlivých obvodů jsou samostatnými vodiči propojeny s obvodem Master. Je-li obvodem Master mikrokontrolér, bývají tyto vodiče připojeny k některému z jeho portů. Tak lze snadno vybírat obvod, se kterým má být v daném okamžiku vedena komunikace.[5]



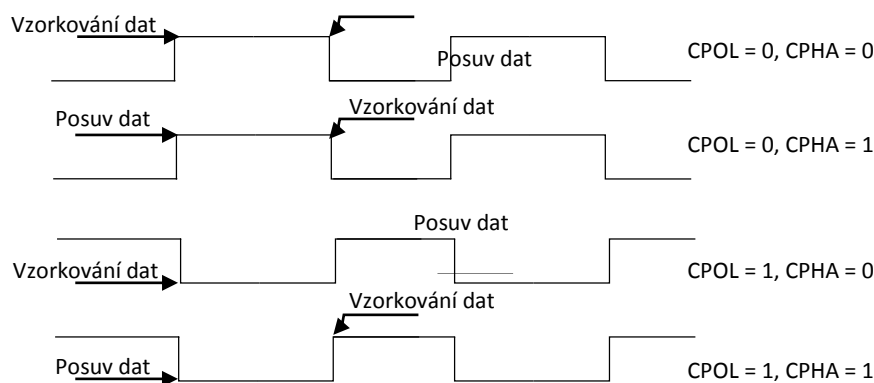
Obr. 6 Příklad zapojení obvodů Master/Slave

Přenos na SPI probíhá vždy mezi obvodem Master a některým z obvodů Slave. Oba obvody obsahují posuvné registry, které jsou v okamžiku komunikace propojeny tak, jak je schematicky naznačeno na obrázku č. 7.



Obr. 7 Propojení obvodů Master/Slave [6]

Obvod Master generuje hodinový signál, který řídí posouvání obou posuvných registrů. Klidová úroveň signálu SCK a vztah mezi datovým a hodinovým signálem je dán parametry CPOL a CPHA (viz Obr. 9). Pokud je rozhraní SPI realizováno specializovaným řadičem, je obvykle možné tyto parametry v řadiči nastavit. Je-li rozhraní SPI realizováno programově, musí být okamžiky změny úrovně datových a hodinových signálů zvoleny tak, aby přijímající obvod vzorkoval ustálená data. [6]



Obr. 8 Význam parametrů CPOL, CPHA [6]

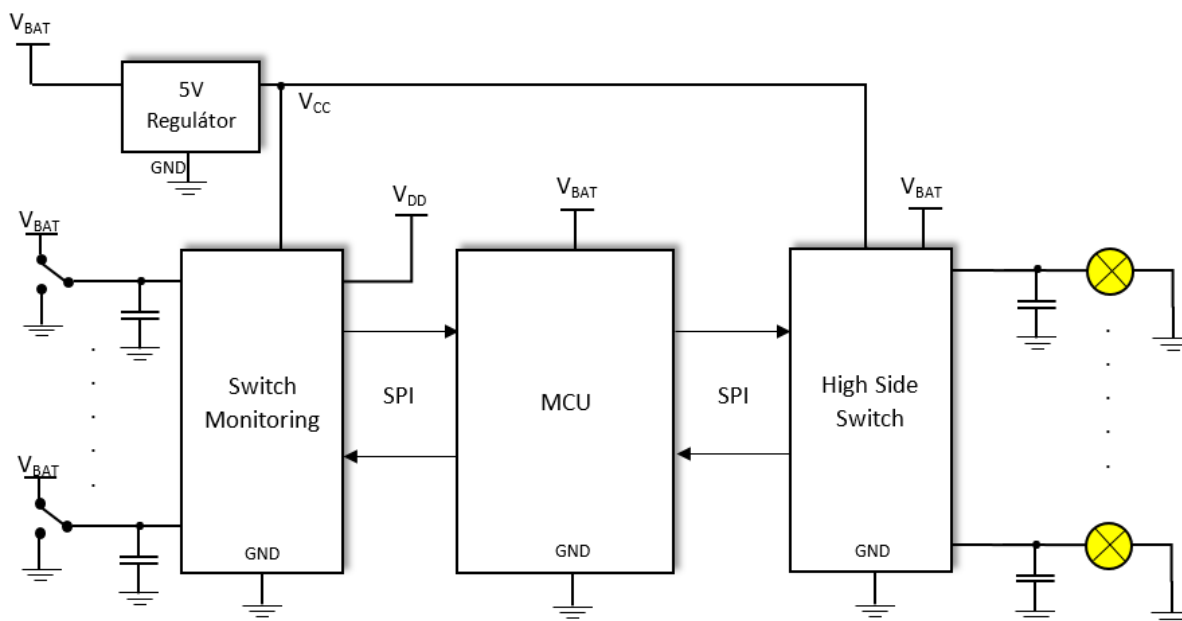
Abychom věděli, kdy bude docházet ke čtení a kdy k posuvu dat, musíme znát konfiguraci SPI přenosu. Ta je dána dvěma bity CPOL a CPHA. Tato konvence byla vyvinuta firmou Freescale Semiconductor.

To, kdy je čtena hodnota bitu udává parametr CPHA. Tedy buď z přechodu hodinového signálu z klidové do aktivní úrovně, nebo naopak. Parametr CPOL pak udává, jaká je úroveň klidového signálu (log. 1 nebo log. 0).

## 4 Struktura a koncepce modelu

Struktura modelu vychází ze tří hlavních částí, které spolu vzájemně komunikují skrze sběrnici SPI. Těmi jsou:

- obvod pro zpracování signálů (MC33972),
- MCU (Microcontroller Unit) (Atmel328),
- obvod pro buzení akčních členů (High nebo Low Side Switches) (17XS6500).



Obr. 9 Struktura laboratorního modelu

Dalšími částmi jsou:

- zdrojová část,
- snímače neelektrických veličin (elektronický plynový pedál),
- akční členy (mlhová světla).

Vyvinutý laboratorní model bude sloužit jako praktické pomůcka v hodinách Automobilové elektroniky II. Pro studenty byla vyrobena deska plošného spoje, která reprezentuje reálnou řídicí jednotku. Obsahuje I/O obvody, přičemž vstupní obvody se zabývají zpracováním signálů ze snímačů (může zde být použito odporových kontaktových, či polohových snímačů). Tento analogový signál je měřen a v obvodu digitalizován.

Celá informace je odeslána skrze sběrnici SPI do řídicího systému. Řídicí systém je naprogramován tak, aby na tuto situaci zareagoval a vyslal po SPI jinou informaci charakterizující stav vstupů výstupnímu obvodu-buzení akčních členů. Tento obvod obsahuje

5 výkonových tranzistorových kanálů, umožňující PWM modulace signálu na každém z nich. Obvod je také schopen self-diagnostiky. Na každém z výkonových kanálů je tedy možné díky informaci z řídicího systému nastavit požadovanou úroveň napětí.

Akční člen v mechatronice je zařízení, které převádí informační část procesu na technickou (může to být například žárovka, servomotor pro nastavení škrtkové klapky, žhavicí svíčka apod.)

Laboratorní model je vyvinut zejména pro pochopení funkce sběrnice SPI a také pro pochopení možnosti komunikace a ochrany I/O obvodů.

#### **Bakalářská práce se zabývá především:**

- Obvodem buzení akčních členů – typy jeho ochrany, možností PWM modulace a přenosem informace mezi obvodem a řídicím systémem.
- Řídicím systémem – získání informací, zapojení a oživení, naprogramování specifické aplikace.
- Obvod zpracování signálu je do modelu integrován. Ověření jeho konkrétních vlastností bude součástí řešení navazující bakalářské práce.

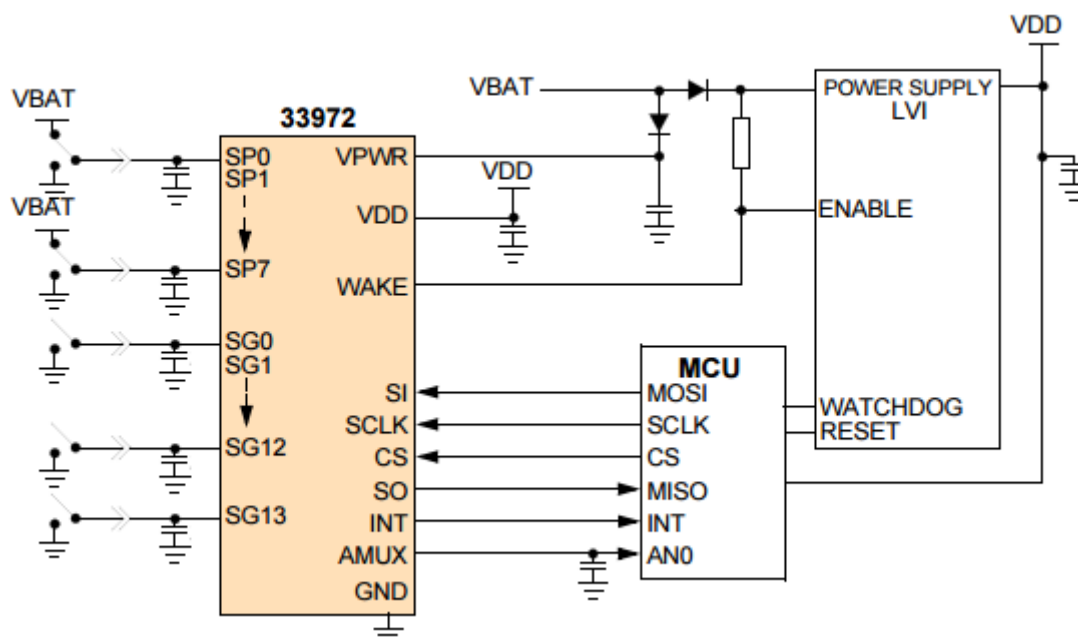
### **4.1 Obvodová část bloku modelu pro zpracování signálu**

Obvod MC33972 je vstupní obvod převádějící analogový signál ze snímačů na bitovou informaci posílanou po SPI. K obvodu může být připojeno až 22 vstupních spínačů. Stav spínačů je možné přenést bitovou informaci po sběrnici SPI do automobilového prostředí. Toto SMARTMOS zařízení je vybaveno multiplexory pro čtení analogových vstupů. Na stránkách výrobce, jež je firma NXP se tyto obvody nachází pod kartou Switch Monitoring ICs.

#### **Vlastnosti**

- Napájecí napětí od 5,5 V - 26 V ( $V_{PWR}$ )
- Rozsah vstupního spínacího napětí od -14V do 36V Max.
- Propojení pomocí SPI rozhraní přímo do MCU pomocí 3,3V nebo 5,5V
- 8 programovatelných vstupů (spínaných buď na baterii, nebo na zem) a 14 vstupů spínaných k zemi
- Pohotovostní proud  $V_{BATP} = 30 \mu A$  a  $V_{DD} = 10 \mu A$
- Integrované teplotní čidlo a baterie [7]





Obr. 10 Zjednodušené schéma zapojení obvodu MC33972 [7]

Obvod MC33972 má dva režimy ve kterém se může nacházet. Režim spánku a normální režim. V normálním režimu je umožněno programování a jsou v něm sledovány změny stavu spínačů. Režim spánku zajišťuje velmi nízký odběr proudu. To je velmi vhodné pro automobilový průmysl. Obvod je navržen tak, aby tvořil robustní rozhraní mezi procesorem a spínacími kontakty a zároveň poskytuje ochranu kontaktů takzvanými smáčivými proudy, díky nimž nedochází k oxidaci mezi piny konektoru. Prostřednictvím analogového multiplexoru je možné využití všech vstupů jako analogových.

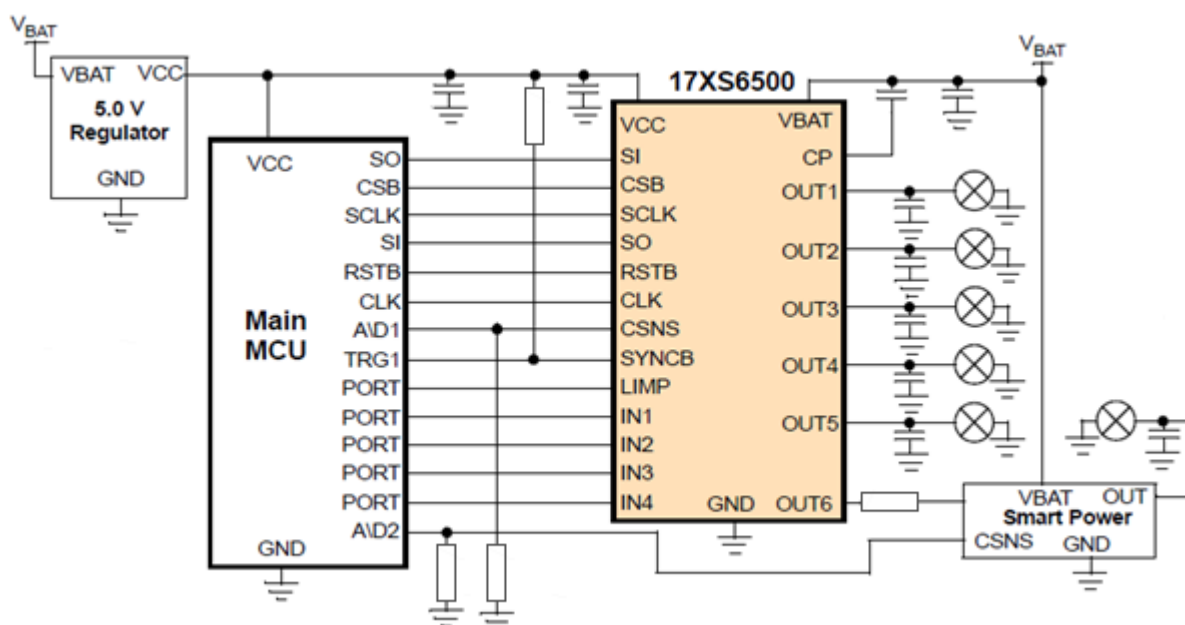
Mezi další funkce patří takzvaný wake-up časovač, programovatelný časovač přerušení, programovatelné wake-up /přerušení bitů. A programovatelné nastavení smáčivých proudů. Zařízení je určeno jak pro automobilový, tak i pro telekomunikační či jiný počítačový průmysl. [7]

## 4.2 Obvodová část bloku modelu pro buzení akčních členů

Jako obvod buzení akčních členů byl vybrán obvod MC17XS6500. Na stránkách výrobce se tyto obvody nachází pod kartou High Side Switches. Tento obvod poskytuje 5 výstupních kanálů s velmi malým přechodovým odporem  $R_{DS(ON)}$  díky technologii MOSFET. Případně připojené zátěže jsou velmi dobře chráněny proti nadproudům. Obvod je dále chráněn proti přehřátí či přepólování. Tyto obvody zároveň poskytují diagnostiku v případě přerušení výstupního obvodu, jako je například přerušení vlákna žárovky. Dále zajišťují správu chybových hlášení a kontrolu zařízení bez použití složitého softwaru.

### Vlastnosti:

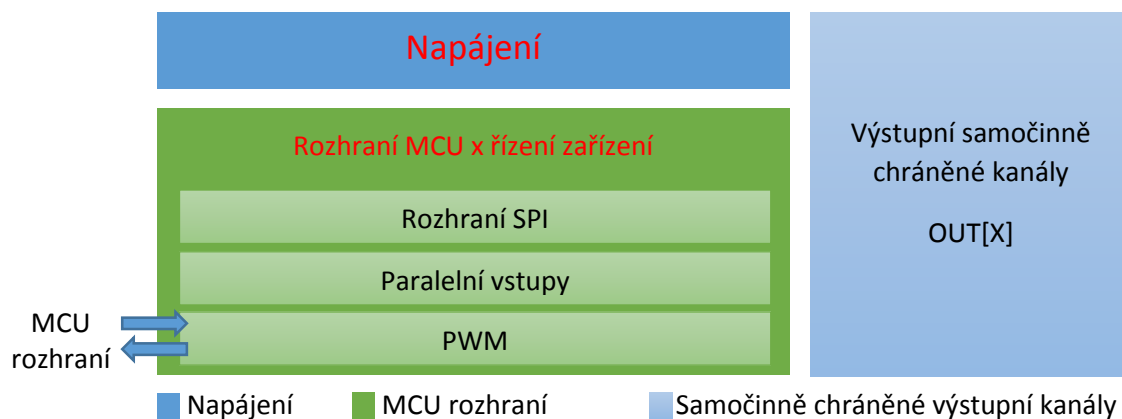
- 5 kanálové High Side Switches
- Komunikace probíhá po 16 bitové 5MHz SPI sběrnici
- Kontrola nadproudů, řízení pomocí PWM modlace, detekce stavu zapnuto/vypnuto, detekce nezatíženého obvodu
- Monitoring výstupního proudu
- Režim paralelního řízení výstupů
- Provozní napětí 7 – 18V s odběrem  $< 5.0 \mu A$  v režimu spánku
- Ochrana proti přepólování až do -16V
- Ochrana odpojením země [8]



Obr. 11 Zjednodušené schéma zapojení obvodu MC17XS6500 [8]

## Použití v provozu

- Nízkonapěťové exteriérové osvětlení
- Nízkonapěťové průmyslové osvětlení
- Automatizační slaboproudé systémy
- Stejnosměrné motory [8]



Obr. 12 Vnitřní blokové schéma obvodu MC17XS6500 [8]

Kanály (1-5) disponují proudovými ochranami. Jednotlivé koncové stupně jsou vybaveny zpětnými diodami pro ochranu v případě spínání induktivní zátěže. Při použití PWM modulace dokáže detekovat zkrat na výstupu i při minimální stříde výstupního signálu. V tom případě obvod okamžitě vypne výstupní kanál a při odstranění poruchy obvod kanál okamžitě zapne. Obvod má dvě napájecí svorky ( $V_{BAT}$  a  $V_{CC}$ ).  $V_{BAT}$  s rozsahem 5,5 až 40V typicky však 7 až 18V, napájí vnitřní bloky regulátorů, analogové a logické obvody. Skrze  $V_{CC}$  pin (5V) jsou napájeny výstupní registry. Bez  $V_{CC}$  by nebylo možné diagnostikovat stav obvodu.

Diagnostika poruch se provádí skrze sběrnici SPI. Možné příčiny poruch mohou být například:

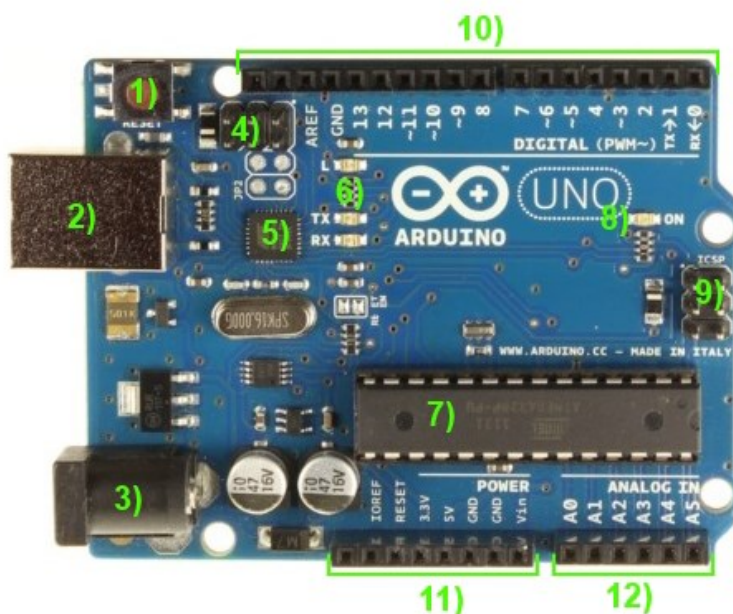
- zkrat na baterii,
- přímý zkrat na zem,
- nadproud,
- přehřátí obvodu,
- přepětí,
- odpojení zátěže,
- výpadek hodinového signálu pro PWM,
- chyba SPI komunikace, která může nastat při výpadku některého z řídicích signálů (SCLK, CS, MISO, MOSI) nebo při špatném naprogramování SPI komunikace.

Obvod vyžaduje, aby byly vyslány nejprve dvě inicializační zprávy na začátku běhu programu, a následně je možné ovládat výstupní kanály, měřit výstupní proudy a napětí. Inicializace obvodu proběhne do 50 $\mu$ s, do té doby je obvod robustní a je plně chráněn. Při každém zápisu do vstupního registru musí být přepínán kontrolní WD (Watchdog bit), jinak nebude komunikace probíhat a zařízení přejde do režimu FAIL. Do chybového režimu se obvod může dostat i při špatné kontrole součtu délky protokolu (modulo16). Každý z kanálů může být ovládán nezávisle. Výstupní signál je možno fázově posunout od 0 do 270°. Při použití PWM modulace je možné nastavit frekvenci výstupního signálu až do 400Hz.

### 4.3 Řídicí systém

#### Arduino UNO

V současné době se jedná o nejpoužívanější desku Arduino na trhu. Jádrem desky Arduino je mikrokontrolér Atmel, typ ATmega328 a je vybaven USB portem. Předcházející typ byl vybaven pouze sériovým portem.



Obr. 13 Popis desky Arduino UNO [9]

#### Popis desky

**1** - Resetovací tlačítko. Po jeho stisknutí program spustí znovu, **2** - USB konektor u některých typů nalezneme konektor micro USB nebo ho na desce vůbec nenajdeme, protože je zapotřebí externího programátoru. **3** - Napájecí konektor. **4** - ICSP konektor sloužící k programování USB sériového převodníku. **5** - USB sériový převodník plní roli překladatele a stará se o komunikaci mezi PC a mikrokontrolérem. **6** - Indikační diody Tx,Rx indikují komunikaci po sériové lince a dioda L je připojena k výstupu č. 13 a umožňuje tak signalizaci stavu výstupu. **7** - Mikrokontrolér ATmega 328 umístěný na patici. **8** - LED dioda indikující zapnuté zařízení. **9** - ICSP konektor pro programování mikrokontroléru. **10** - Digitální vstupně/výstupní piny (celkem 14). Celkem 6 z těchto pinů mají možnost PWM modulace. **11** - Napájecí část pro externí zařízení. **12** - Analogové vstupy (celkem 6) které mají možnost nastavení i jako digitální vstupy nebo výstupy. [9]

Mikrokontrolér ATmega 328 je postaven na architektuře Atmel AVR. Pracuje na taktovací frekvenci 16MHz a jeho součástí je 32kB paměť typu flash, 2kB SRAM paměť a 1kB EEPROM paměť. Napájení je možné dvěma způsoby, a to buď 5V, které si Arduino bere přímo z USB portu. [10] V našem případě je zdrojem hlavní deska modelu (více v kapitole realizace laboratorního modelu).

### **Snímače neelektrických veličin:**

Jako snímač neelektrických veličin bylo použito elektronického plynového pedálu (tzv. E-gas) z jiného laboratorního modelu. Je zde využívána pouze jedna odporová dráha. Pedál dále disponuje mechanickým dorazem k jehož proslápnutí je potřeba větší síly. Výhodou je možnost napojení banánkovými konektory přímo na tabuli. Popis zapojení pedálu je přiložen v dokumentaci.



*Obr. 14 Elektronický plynový pedál*



## Akční členy

Jako akčního členu byly použity mlhové světlomety s klasickými žárovkami o příkonu 20W. Slouží pouze pro signalizační účely.

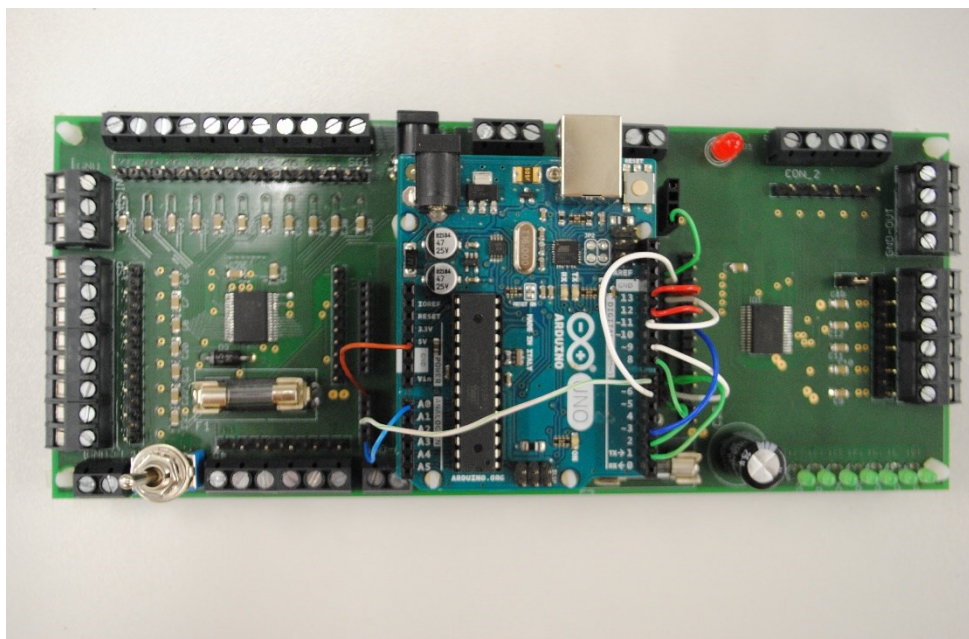


*Obr. 15 Mlhové světlomety*

## 5 Realizace laboratorního modelu

Návrh modelu vycházel z předpokladu, že bude využíván pro výukové účely. To znamenalo sestavit model tak, aby pro studenty již samotná struktura modelu byla pochopitelná.

Na obrázku č. 1 v kapitole struktura a funkce řídicí jednotky je znázorněn sled hlavních částí řídicí jednotky a to: obvod zpracování signálu – řídicí systém – obvod buzení akčních členů. Z toho bylo při návrhu DPS vycházeno.

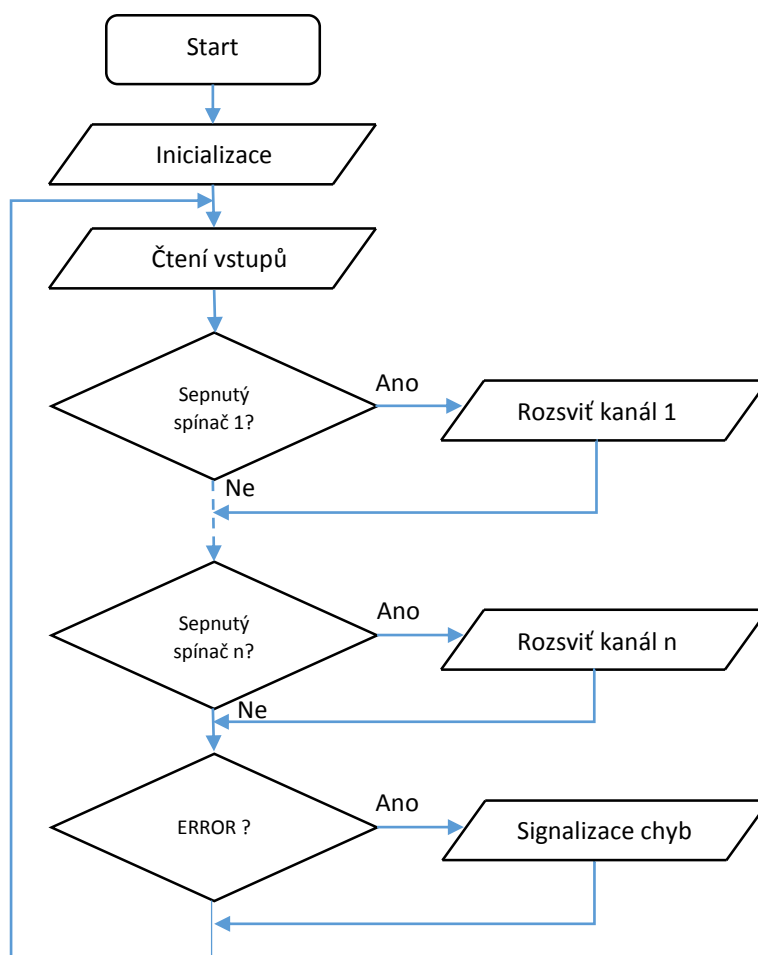


*Obr. 16 Laboratorní model řídicí jednotky*

## 5.1 Návrh software

Vývojové prostředí Arduino IDE je možné spustit na všech platformách operačních systémů. Umožňuje psát kód v jazyce C nebo C++. Je však možné použít knihovnu Wring, která je v současné době často používaná na deskách Arduino a mluví se o ní jako o samostatném programovacím jazyce. [9]

Software je nedílnou součástí modelu. Jeho hlavním úkolem je zprostředkování sériové komunikace SPI. Dále slouží jako generátor obdélníkového signálu o frekvenci přibližně 100KHz jako zdroj referenčního PWM signálu pro PWM modul v obvodu MC17XS6500, aby bylo možné měnit jas žárovky. Při detekci výpadku referenčního PWM signálu, nebo při nižší úrovni  $V_{CC}$  než je jeho povolený rozsah, zařízení přejde do režimu plného svitu žárovek na všech kanálech. Dalším úkolem softwaru je detekce a následná světelná signalizace chybového hlášení na desce plošného spoje. Signalizace je zobrazena LED kontrolkami na desce plošného spoje.



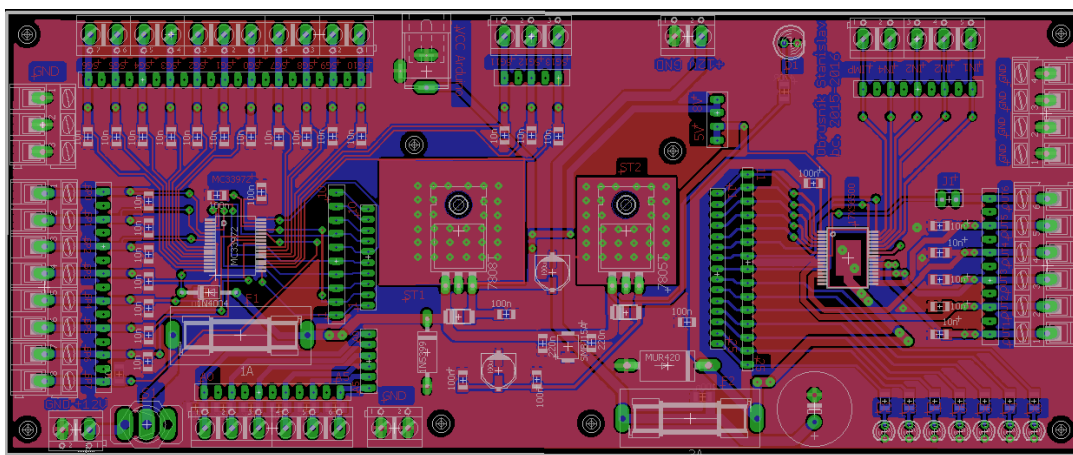
Obr. 17 Vývojový diagram programu

Na začátku programu probíhá inicializace ve funkci „void setup ()“, přičemž se její tělo provede jenom jednou. V této funkci se nastavují parametry pro SPI komunikaci, vstupní a výstupní piny. Na konci této funkce mikrokontrolér odešle dvě inicializační zprávy obvodu buzení akčních členů. Následuje funkce „void loop ()“ ve které probíhají veškeré operace a její tělo se provádí opakovaně až do ukončení programu.

Ve funkci „void loop ()“ nejprve proběhne vyčtení vstupů arduina. Například ve chvíli, kdy je na některý ze vstupů arduina připojeno tlačítko a dojde ke změně jeho hodnoty z LOW na HIGH, či při změně polohy potenciometru. Tyto hodnoty se uloží do paměti a dále se s nimi pracuje. Ve funkci „void loop ()“ také probíhá volání funkce „void pripad (int chanel)“, přičemž případů je celkem 9 a každý z nich je reprezentován dvojicí bajtů. Funkce „pripad“ je ještě dále rozvětvena do podmínky if. Ta se neustále ptá, jestli je stlačeno tlačítko, nebo je-li (v případě snímání polohy potenciometru) hodnota odporu v určitém rozmezí. Následně proběhne přenos po SPI. Odešle se dvojice bajtů a přijme se dvojice bajtů z jednotky Slave. Data se následně uloží do proměnných. Na konci programu se zjišťuje, jestli nedochází k chybovému hlášení díky maskování těchto proměnných. Chyby jsou signalizovány přímo na desce laboratorního modelu diodami D2 až D8. Popis významu zapnutí LED diod je přiložen v dokumentaci.

## 5.2 Návrh DPS

Deska plošného spoje – dále jen DPS byla navržena ve vývojovém prostředí EAGLE 7.5.0 ve dvouvrstvém provedení. Velikosti součástek byly voleny s ohledem na rozměry DPS. Je zde v hojně míře využito součástek pro povrchovou montáž - SMD ve standardizované velikosti 1206. Výkonové prvky byly rozmístěny s ohledem na využitelnost prostoru, přičemž byly opatřeny chladicími ploškami, které zajišťují dostatečný odvod tepla vzhledem k jejich ztrátovému výkonu. Výpočtem oteplení pouzder součástek se zabývá kapitola 5.4. DPS je povrchově upravena cínovou pájkou a na závěr je na ni nanesena nevodivá maska.



*Obr. 18 Deska plošného spoje v programu EAGLE*



Laboratorní model je rozdělen na celkem 4 části:

- Snímače (umístěné mimo DPS)
- Akční členy (umístěné mimo DPS)
- Hlavní deska (obsahuje I/O obvody)
- Deska řídicího systému – Arduino

Řídicí systém je spojen s hlavní deskou pomocí čtyř plastových distančních sloupků. Hlavní deska je vybavena řadou dutinkových lišt, díky kterým lze jednoduchým způsobem obě desky propojit. Popis pinoutů k oběma deskám je přiložen v příloze.

## Výpočet proudové zatížitelnosti DPS

Laboratorní model je navržen tak, aby si mohli studenti otestovat skutečné poruchové stavy, které mohou nastat například při provozu vozidla. Při návrhu plošného spoje byl brán zřetel na výrobní standardy tloušťek měděné folie, které se zpravidla vyrábějí v těchto řadách: 18, 35, 70 případně 105 $\mu$ m. Přičemž šířka cesty byla omezena velikostí desky plošného spoje a rozmístěním součástek. Při návrhu desky byla zvolena nejmenší tloušťka měděné folie: 18 $\mu$ m a šířka největší silové cesty na spoji 1,778mm. Pro tuto cestu je nutné uvést vzorec pro výpočet maximálního proudu při zvoleném oteplení této cesty:

$$I = 0,048 \cdot dT^{0,44} \cdot A^{0,725} \quad (11)$$

$I$  – maximální proud vnější cestou [A],  $dT$  – zvýšení teploty nad okolní teplotu (bráno 30 °C),  $A$  - průřez [ $mils^2$ ]

Plochu cesty bylo nutné převést na čtvereční milipalec, tj. [ $mils^2$ ]:

$$A = 1,778 \cdot 0,018 = 0,032mm^2 = 51,2 \text{ mils}^2$$

Po dosazení :

$$I = 0,048 \cdot 30^{0,44} \cdot 51,2^{0,725} = 3,719A \quad (11)$$

S předpokladem, že se cesta vlivem oteplení desky ohřeje o 30 °C byl stanoven maximální proud touto cestou přibližně 3,72A. Ochrana proti přepólování je řešena paralelní diodou. Při normálním provozu dioda D6 nepropouští proud v závěrném směru, avšak při přepólování dojde k tomu, že dioda D6 propustí proud a zkratuje pojistku F2. Podle toho byla zvolena rychlá trubičková pojistka F3A. Každý z výstupních kanálů obvodu (1-5) je propojen se svorkovnicí cestou o šířce 1mm a tloušťce vrstvy taktéž 18 $\mu$ m. Proto je nutné vypočítat i maximální proud na daný kanál:

$$A = 1 \cdot 0,018 = 0,018mm^2 = 28,8 \text{ mils}^2$$

$$I = 0,048 \cdot 30^{0,44} \cdot 28,8^{0,725} = 2,45A \quad (11)$$

### 5.3 Výpočet oteplení pouzder výkonových součástek

Na desce jsou umístěny dva výkonové stabilizátory napětí a výkonový obvod MC17XS6500. Stabilizátory dokáží udržet na svých výstupech předem definovanou úroveň napětí za všech možných proudových, napěťových změn na výstupu či při kolísání teplot v dovoleném rozsahu stabilizátoru. Aby byla zajištěna tato podmínka, je nutné stabilizátory i obvod buzení akčních členů dostatečně chladit.

#### 5.3.1 Stabilizátory 7805 a 7808

Napájení vnitřní logiky obvodu MC17XS6500, je zajištěno 5V stabilizátorem 7805. Praktickým měřením bylo zjištěno, že pro napájení je dostačující proud 100mA. Pro napájení Arduina byl zvolen 8V stabilizátor 7808, z důvodu dovoleného rozsahu napětí 7-12V. Je využíván pouze pro funkci napájení Arduina. Měřením bylo zjištěno, že pro provoz Arduina v plném zatížení je dostačující proud 500mA. Tento proud je zároveň maximální při napájení z USB portu.

Pro výpočet chladičí plošky je nutné znát základní parametry uvedené v katalogových listech stabilizátorů. Je to zejména: Maximální ztrátový výkon ( $P_Z$ ), který je možné předat chladiči. Dále je to maximální teplota čipu ( $\vartheta_J$ ), vnitřní tepelný odpor mezi čipem – pouzdem ( $R_{JB}$ ) a vnější tepelný odpor mezi pouzdem – okolím ( $R_{JA}$ ).

$$P_{Z\ 7805} = (U_{VBAT} - U_{STAB}) \cdot I = (12 - 5) \cdot 0,1 = 0,7W$$

$$P_{Z\ 7808} = (U_{VBAT} - U_{STAB}) \cdot I = (12 - 8) \cdot 0,5 = 2W$$

$P_Z$  – ztrátový výkon na stabilizátoru při napájecím napětí 12V a odběru 100mA (500mA) [W],  $U_{VBAT}$  – Napětí přivedené na vstup [V],  $U_{STAB}$  – Stabilizační napětí stabilizátoru [V],  $I$  – proud stabilizátorem [A]

Pro danou aplikaci bylo nutné nejdříve zjistit, zda je potřeba použít chladiče pro dané ztrátové výkony. Maximální teplota pouzdra (pro oba stabilizátory) je 150 °C.

$$\vartheta_{J\ 7805} = R_{JB} \cdot P_Z + \vartheta_c = (3 \cdot 0,7) + 25 = 27,1^\circ C$$

$$\vartheta_{J\ 7808} = R_{JB} \cdot P_Z + \vartheta_c = (3 \cdot 2) + 25 = 31^\circ C$$

$\vartheta_J$  – teplota čipu [°C],  $\vartheta_c$  – teplota pouzdra – podle teploty okolí [°C],  $R_{JB}$  – vnitřní tepelný odpor mezi čipem a pouzdem (v katalogovém listu pro obvod 17XS6500 uvedena hodnota 3 °C/W)

Při výpočtu byl uvažován pouze vnitřní tepelný odpor mezi čipem a pouzdrém, jelikož bylo třeba zjistit na kolik se ohřeje samotné pouzdro. Z vypočtených teplot je jasné, že není potřeba součástky chladit. Oba stabilizátory ovšem umožňují, aby jimi protékal proud až 1A a je předpokládáno, že bude v budoucnu laboratorní model zatěžován vyšším odběrem proudu. Proto je nutné uvést výpočty chladících ploch na DPS pro maximální zátěž.

Pro výpočet plochy chladiče je nutné nejprve vypočítat teplotu obou pouzder  $\vartheta_C$  při dané teplotě čipu  $\vartheta_J$  a vnitřním tepelném odporu  $R_{JB}$ :

$$\vartheta_{C\ 7805} = \vartheta_J - (R_{JB} \cdot P_Z) = 150 - (3 \cdot 0,7) = 147,9^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\vartheta_{C\ 7808} = \vartheta_J - (R_{JB} \cdot P_Z) = 150 - (3 \cdot 2) = 144^\circ\text{C}$$

$\vartheta_C$  – teplota pouzdra [ $^\circ\text{C}$ ],  $\vartheta_J$  – teplota čipu (z katalogového listu max.  $150^\circ\text{C}$ ),  $R_{JB}$  – [ $^\circ\text{C}$ ] vnitřní tepelný odpor mezi čipem a pouzdrém (v katalogovém listu pro oba stabilizátory uvedena hodnota  $3^\circ\text{C/W}$ ). Nyní je nutné uvést výpočet vnějšího tepelného odporu:

$$R_{JA\ 7805} = \frac{\vartheta_C - \vartheta_A}{P_Z} = \frac{147,9 - 25}{0,7} = 175,57 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (12)$$

$$R_{JA\ 7808} = \frac{\vartheta_C - \vartheta_A}{P_Z} = \frac{144 - 25}{2} = 59,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$R_{JA}$  – tepelný odpor mezi pouzdrém a okolím [ $^\circ\text{C/W}$ ],  $\vartheta_A$  – teplota okolí (bráno  $25^\circ\text{C}$ )

$$S_1 = \frac{C_1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot C_2}{R_{JA} - C_1 \cdot 1,73} = \frac{0,75 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot 0,5}{147 - 0,75 \cdot 1,73} = 3,4357 \approx 3,5 \text{ cm}^2 \quad (12)$$

$$S_2 = \frac{C_1 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot C_2}{R_{JA} - C_1 \cdot 1,73} = \frac{0,75 \cdot 7,6 \cdot 10^2 \cdot 0,5}{49,5 - 0,75 \cdot 1,73} = 5,9125 \approx 6 \text{ cm}^2$$

$S_1$  – plocha chladiče pro stabilizátor 7805 [ $\text{cm}^2$ ],  $S_2$  – plocha chladiče pro stabilizátor 7808 [ $\text{cm}^2$ ],  $C_1$  – materiálová konstanta (AL – 1, CU – 0,75) [-],  $C_2$  – vyzařovací konstanta (0,43 pro svislý a 0,5 pro vodorovný chladič) [-].

Podle výpočtů velikostí chladících ploch byly navrženy odpovídající velikosti chladících plošek měděné fólie přímo na DPS. Stabilizátory pak dokáží i za maximálních možných zatíženích udržet dovolenou teplotu čipu.

### 5.3.2 Obvod MC17XS6500

V katalogovém listu obvodu MC17XS6500 je uvedena maximální proudová zátěž na každý kanál 5,5A. DPS však nedovoluje toto maximální zatížení. Maximální hodnota proudu na každý kanál je stanovena na 2,45A (popsáno v kapitole výpočet proudové zatížitelnosti DPS).

$$P_Z = R_{DS(ON)} \cdot I^2 = R_{DS(ON)} \cdot [I_{CH1}^2 + I_{CH2}^2 + I_{CH3}^2 + I_{CH4}^2 + I_{CH5}^2]$$

Z Ohmova zákona vyplývá výpočet maximálního ztrátového výkonu na součástce pro 5 kanálů. Kde  $R_{DS(ON)} = 17\text{m}\Omega$  je odpor přechodu Drain-to-Source měřen při teplotě čipu  $\vartheta_J = 25^\circ\text{C}$  a napětí  $V_{BAT} = 12\text{V}$ . Pro návrh chladicí plošky je nutné dostatečně dimenzovat výpočet výkonové ztráty. Výkonové cesty DPS jsou chráněny rychlou pojistkou 3A, přičemž tento proud je celkový pro všechny kanály. Ztrátový výkon z Ohmova zákona  $P = R \cdot I^2$  tedy říká, že pokud se zvětší proud vodičem dvojnásobně, vzroste výkon čtyřnásobně. Proto je nutné výpočet výkonové ztráty na obvodu sestavit správně.

Ztrátový výkon bude největší, když i proud daným kanálem bude největší možný. Do výpočtu výkonové ztráty byly proto zavedeny pouze dva kanály s maximálním možným proudem na kanál. Proud kanálem  $I_{CHMAX}$  je maximální proud cestou kanálu. Druhým kanálem  $I_{CH2}$  tedy může téci pouze zbytkový proud, který povolí pojistka tedy 3A (označen jako  $I_{CELKOVÝ}$ ).

$$I_{CH2} = I_{CELKOVÝ} - I_{CHMAX} = 3 - 2,45 = 0,55\text{A}$$

$I_{CH2}$  – zbytkový proud druhým kanálem [A],  $I_{CELKOVÝ}$  – celkový proud povolený pojistkou [A],  $I_{CHMAX}$  – maximální proud na kanál [A]

$$P_{Z\ 17XS6500} = R_{DS(ON)} \cdot [I_{CH1}^2 + I_{CH2}^2] = 0,017 \cdot [2,45^2 + 0,55^2] = 0,107\text{W}$$

$P_Z$  – ztrátový výkon [W],  $R_{DS(ON)}$  odpor mezi přechodem Drain-to-Source [ $\text{m}\Omega$ ],  $I_{CH1,CH2}$  proud kanály 1,2 [A]

Díky nízkému odporu přechodu DS v sepnutém stavu je ztrátový výkon opravdu nízký a dá se předpokládat malé oteplení čipu.

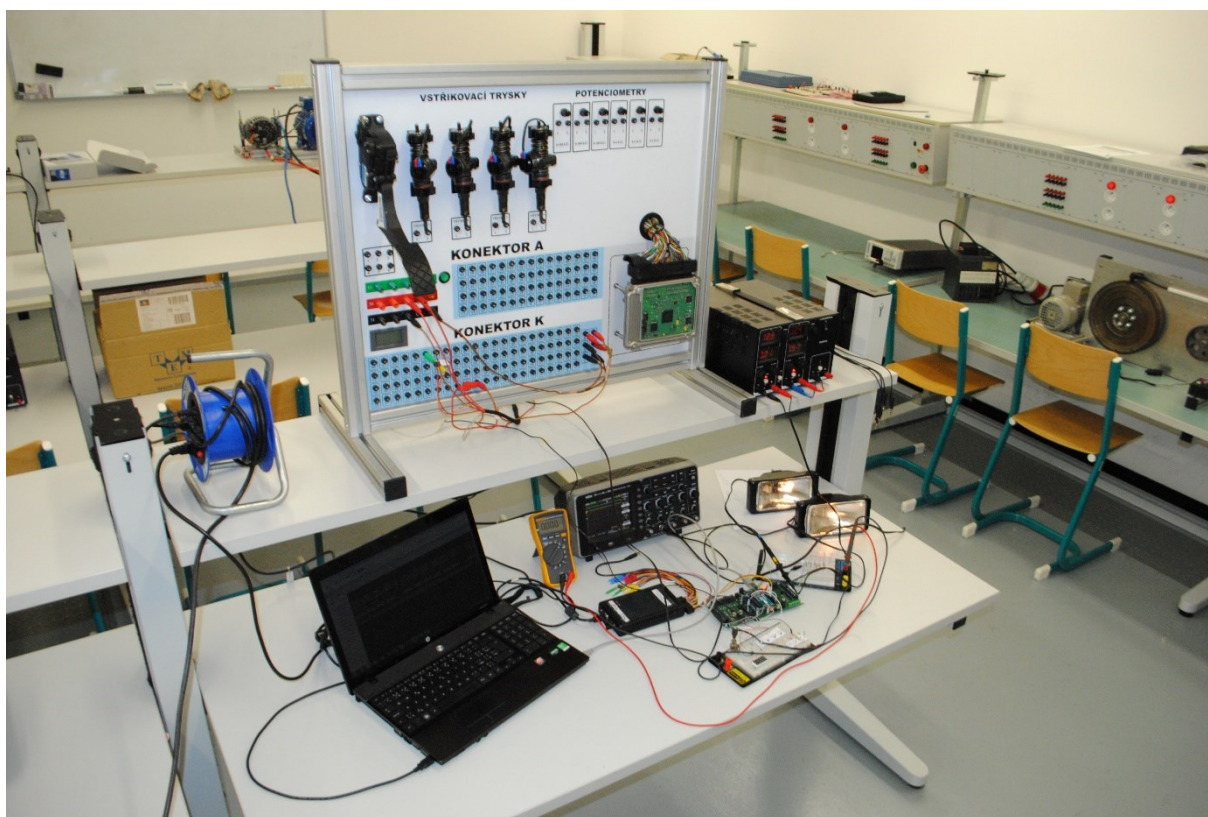
$$\vartheta_J = R_{JB} \cdot P_Z + \vartheta_c = (2,5 \cdot 0,107) + 25 = 25,267 \approx 25,27^\circ\text{C} \quad (12)$$

$\vartheta_J$  – teplota čipu [ $^\circ\text{C}$ ],  $\vartheta_c$  – teplota pouzdra [ $^\circ\text{C}$ ],  $R_{JB}$  – vnitřní tepelný odpor mezi čipem a pouzdrem (v katalogovém listu pro obvod 17XS6500 uvedena hodnota  $2,5^\circ\text{C/W}$ )

Z výpočtu je patrné že se při daném zatížení obvod prakticky nezahřeje. Avšak z konstrukčního hlediska byla pod obvodem malá měděná ploška vyrobena.

## 6 Měření na modelu

Po návrhu, realizaci laboratorního modelu následovalo oživení a testovací měření. Po vývoji a odladění kódu programu Arduina proběhlo osazení plošného spoje hlavní desky laboratorního modelu. Následně pak propojení obou desek a mechanické spojení distančními sloupky. Měření mělo prakticky prověřit funkčnost celého elektronického systému a bylo základem pro návrh laboratorní úlohy.



*Obr. 19 Měřicí stanoviště*

Na obrázku č. 19 je fotografie měřicího stanoviště. Probíhala zde především analýza SPI a měření osciloskopem. K měření je zapotřebí mít dva napájecí zdroje, protože zdrojová část modelu je rozdělena na dvě části. Na fotografii nahoře jde dále vidět pedál plynu upevněný na jiném laboratorním modelu. Dole je pak vyvinutý laboratorní model, notebook se softwarem k analyzátoru, samotný logický analyzátor, osciloskop a další.

## 6.1 Analýza SPI

Řídicí systém je naprogramován pro několik laboratorních úkolů, které jsou přiloženy v příloze. Úkoly byly koncipovány tak, aby ověřovaly vlastnosti obvodu buzení akčních členů. Předmětem měření je především analýza SPI, nicméně jeden z úkolů ověřuje princip řízení výstupního napětí pomocí změny střídavy. Pro odměření úkolů je zapotřebí logického analyzátoru a analogového či digitálního osciloskopu.

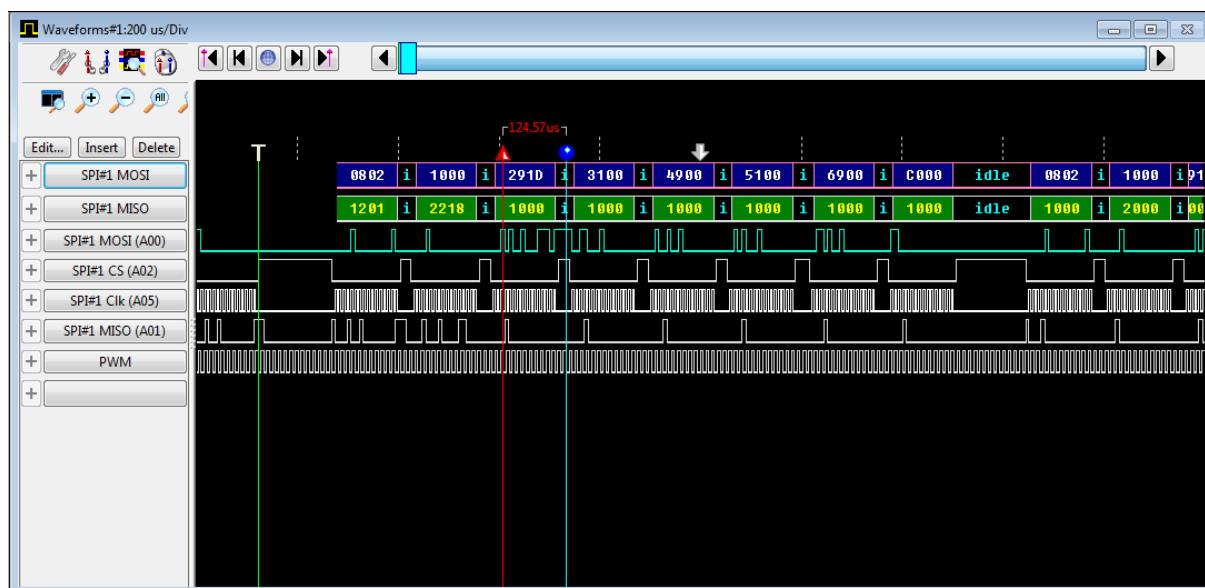
K analýze SPI bylo použito logického analyzátoru GoLogic od firmy NCI, který je dokáže analyzovat širokou škálu sběrnic jako:

- SPI,
- CAN,
- IC2,
- UART,
- LIN,
- a další.

Zobrazení přenesených dat je možné jak v tabulkách, tak v grafech. Výhodou tohoto zařízení je přenosnost, jelikož se jedná o malou krabičku s možností připojení s PC pomocí USB. Pro analýzu SPI jsou povinné 4 základní signály: MOSI, MISO, SCLK a GND.

### **Záznam inicializace:**

Software přiložený k analyzátoru je kvůli jednoduchosti již přednastaven na příslušné měření a proto těmto pinům odpovídají sondy ze skupiny A s bílými návlečkami. Konkrétně jsou to sondy: A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, a GND. Aby bylo možné zachytit všechny zprávy včetně inicializace, je nutné nejprve spustit analýzu v programu GoLogic. Analyzátor bude čekat na nástupnou hranu hodinového signálu SCLK. Po zapnutí spínače S1 na laboratorním modelu se okamžitě spustí komunikace. V případě nezachycení inicializace je nutné resetovat arduino resetovacím tlačítkem na desce.



Obr. 20 Analýza SPI

Na obrázku č. 20 je vidět zachycení začátku komunikace. Nahoře v modrém rámečku můžeme vidět odchozí informaci v hexadecimální soustavě, kterou generuje Arduino (signál MOSI). Pod modrým rámečkem je zobrazena příchozí zpráva od obvodu buzení akčních členů (signál MISO). Pod těmito rámečky jsou průběhy těchto a ostatních signálů jako je CSCLK – hodinový signál, CS – chip select, PWM – zdroj referenčního PWM signálu pro budiče akčních členů.

První čtyři bity z každé zprávy označují adresu v datovém registru obvodu MC17XS6500. Na základě těchto čtyř bitů můžeme určit, o jaký typ zprávy se jedná. Detailní popis vstupních a výstupních registrů je uveden v příloze B v tabulkách 2B a 3B. Pro pochopení této problematiky je však ovládat převody jednotkových soustav.

#### Příklad rozboru MOSI zprávy:

Register	#	SI address				SI data													
		D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
CH1 control	2	0	0	1	0	WD	PH11	PH01	ON1	PWM71	PWM61	PWM51	PWM41	PWM31	PWM21	PWM11	PWM01		

$2_{16} - 0010_2$  – Označuje, že se jedná o adresu kanálu CH1.

$9_{16} - 1001_2$  – Jednička označuje WD (watchdog bit), který je přepínán s každým zápisem do registru. Dvě nuly označují nulový fázový posun signálu. Jednička na konci označuje zapnutí kanálu 1.

$1_{16} - 0001_2$  a  $D_{16} - 1101_2$  těmito osmi bity je možné nastavit střidu výstupního signálu na kanálu č. 1. Přičemž  $FF_{16}$  odpovídá střídě 100% a  $00_{16}$  odpovídá 0% střídě. V tomto případě je nastavena hodnota  $1D_{16}$ .

### Příklady analyzovaných poruchových stavů:

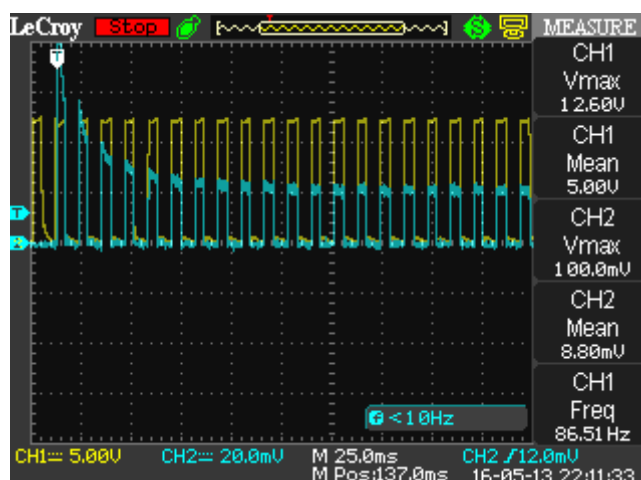
Výstupní registry obvodu se po každém zaznamenání poruchového stavu přepíší a jejich stav se nezmění ani při napravení závady (například přepálení vlákna žárovky). Proto je nutné po každé změně tyto registry vymazat. Lze to provést odpojením vysoké úrovně připojené k pinu RSTB. Další možností je přepnutí páčkového přepínače S1 na hlavní desce, či odpojením napájecího napětí.

Pokud zařízení přejde do režimu FAIL, pak dojde k vypnutí vnitřního PWM modulu. To znamená, že pokud je na výstupech nastavena například střida 50%, po přepnutí do režimu FAIL bude na všech výstupech napětí odpovídající přibližně napětí zdroje VBAT.

## 6.2 Měření na výstupních kanálech

### Připojení zátěže:

Za účelem testování výstupních ochran bylo provedeno několik měření, které ověřují vlastnosti obvodu buzení akčních členů. Pro příklad bylo provedeno měření na třetím kanále, kde předtím nebyla připojena žádná zátěž. Řídicí systém nastavoval střidu na výstupu tohoto kanálu tak, aby střední hodnota odpovídala napětí 5V. Na výstup byla připojena napěťová a proudová sonda osciloskopu. Trigger byl nastaven na náběžnou hranu proudového signálu ze sondy. Ve chvíli, kdy se na výstup připojila 5W zátěž, byl zaznamenán průběh:



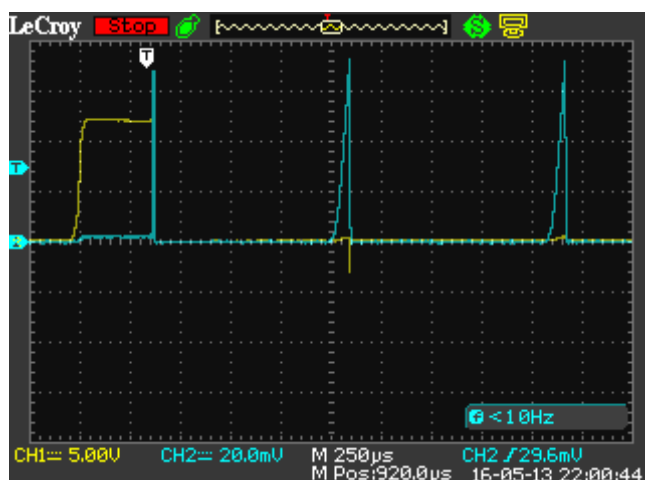
Obr. 21 Osciloskopický průběh - připojení zátěže



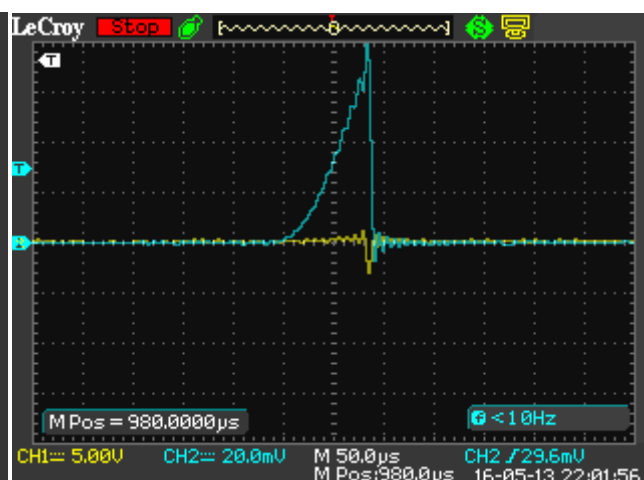
Signál napěťové sondy osciloskopu je reprezentován žlutou barvou. Signál z proudové sondy barvou modrou. Při nastavení proudové sondy na 100mV/A odpovídá proud maximální hodnotě 1A. Z doloženého grafu lze dále odečíst frekvenci PWM modulace, ta se změnou střidy nijak nezmění.

### Zkrat na výstupu:

Další měření bylo provedeno na tomtéž výstupním kanálu při zachování předchozích parametrů. Na analyzovaném kanálu byl simulován zkrat. To je vidět na obrázku č. 22 a 23, kde je vidět okamžik připojení zkratovací propojky. Obvod zkrat automaticky detekoval přes měřící odpor zapojený uvnitř struktury obvodu a okamžitě kanál vypnul.



Obr. 22 Zkrat na výstupu



Obr. 23 Zvětšení proudového pulzu

Na obrázku č. 23 je vidět zvětšený proudový pulz. Ten však trvá jen velmi krátce. Obvod tak chrání výstupy na všech pěti výkonových kanálech a to i v případě výpadku napájení vnitřní logiky obvodu. Tím je zajištěna maximální ochrana a elektroinstalace vozidla.

..

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh a realizace laboratorního modelu za účelem možnosti ověření vlastností vstupních a výstupních obvodů ECU. Součástí byl také návrh laboratorní úlohy s využitím vyvinutého modelu, který byl vytvořen na základě testovacích měření. Stanovených cílů se podařilo docílit. Studenti se mohou blíže seznámit jak s vlastnostmi vstupních a výstupních obvodů ECU, tak i s jejich principem komunikace díky softwarové analýzy sběrnice.

Návrh a realizace zahrnovala nejprve seznámení se s principy komunikace sériových sběrnic. Dalším krokem bylo studování datasheetů k zadaným I/O obvodům. Důležitým aspektem bylo nastavení vstupních registrů I/O obvodů jednotky ECU. To zahrnovalo návrh a odladění softwaru řídicího systému.

Dalším krokem byl návrh DPS. V něm jsou uvedeny výpočty dimenzování chladících plošek výkonových prvků a velikosti vodičových cest. Posledním krokem bylo osazení konečné verze hlavní desky a závěrečné odladění celé aplikace.

Laboratorní model je nyní funkční a je možné na něm provádět analýzu SPI komunikace. Analýza vlastností a komunikace je v této bakalářské práci zaměřena na obvod buzení akčních členů. Ověření vlastností obvodu zpracování signálu bude předmětem jiné bakalářské práce.

## Seznam použité literatury:

- [1] BAUER, František, Pavel SEDLÁK a Tomáš ŠMERDA. Traktory. 1. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006 [cit. 2016-4-29]. ISBN 80-86726-15-0.
- [2] ŠTĚRBA, Pavel a Jiří ČUPERA. Autoelektronika: elektronické systémy ve vozidlech, jejich propojení, diagnostika, základní nastavení, seřízení a ovlivnění jejich funkce. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010 [cit. 2016-4-29]. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 978-80-251-2414-7.
- [3] ŠIMONÍK, Petr. Automotive Electronic Systems Topology [online]. VŠB-TU Ostrava, 2007 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z: <http://arr.cz/cs/ke-stazeni/category/113-brokerage-event-2015-mechatronika?download=777%3A03-vsb-simonik>
- [4] Tester pro LIN a CAN sběrnice: Diplomová práce [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz>
- [5] GOOK, Michael. Hardwarová rozhraní: průvodce programátora. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 463 s. Hardware (Computer Press). ISBN 80-251-1019-2
- [6] Karel Dudáček. . [online]. 5.12.2002 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/>
- [7] NXP: MC33972 Technical Data [online]. NXP, 2012 [cit. 2016-3-16]. Dostupné z: NXP.com
- [8] Freescale Semiconductor: MC17XS6500 Technical Data [online]. Freescale, 2014 [cit. 2015-10-29]. Dostupné z: [freescale.com](http://www.freescale.com)
- [9] ARDUINO.CZ. Arduino.cz [online]. Česká republika, 2014 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://arduino.cz/programujeme-arduino/>
- [10] SANTY.CZ: Automatizace a robotizace. Santy.cz [online]. Česká republika [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.santy.cz/arduino-c2/arduino-uno-r3-nano-shield-atmel-328p-i47/>
- [11] ANSI PCB Trace Width Calculator. Wwww.desmith.net [online]. 2010 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>
- [12] Výpočet chladiče. Elektronický magazín Pandatron [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?219&vypocet\\_chladice](http://pandatron.cz/?219&vypocet_chladice)

## **Seznam příloh**

1. Protokol o laboratorním měření
2. Příloha A – Obvod MC33972
3. Příloha B – Obvod MC17XS6500
4. Příloha C – Arduino UNO
5. Příloha D – Dokumentace k laboratornímu modelu